

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
16. Oktober 2003 (16.10.2003)

PCT

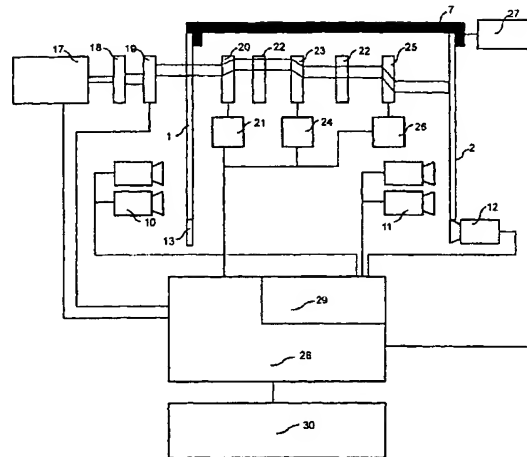
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/085456 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G03F 7/20** [DE/DE]; Lise-Meitner-Strasse 18, 69126 Heidelberg (DE). **SOLLNER, Jürgen** [DE/DE]; Wielandstrasse 8, 69120 Heidelberg (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP03/03775**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
11. April 2003 (11.04.2003)
- (74) Anwalt: **REBLE, KLOSE & SCHMITT**; Patente + Marken, Postfach 12 15 19, 68066 Mannheim (DE).
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 16 096.1 11. April 2002 (11.04.2002) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **HEIDELBERG INSTRUMENTS MIKROTECHNIK GMBH** [DE/DE]; Tullastrasse 2, 69126 Heidelberg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KAPLAN, Roland**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR IMAGING A MASK ONTO A SUBSTRATE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ABBILDEN EINER MASKE AUF EINEM SUBSTRAT



(57) Abstract: The invention relates to a method for imaging a mask (1) onto a substrate (2) by means of an illuminating unit (8) and an optical unit (9). The invention also relates to a device for carrying out the method. The aim of the invention is to create a method and a device which enable the mask (1) and the smaller structures thereof to be imaged onto the substrate (2) in a precise manner, with high functional reliability, and which enable the distortions of the substrate (2) to be corrected. To this end, the illuminating unit (8) and the optical unit (9) are displaced in relation to the mask (1) and the substrate (2), distortions of the substrate (2) are detected, and the imaging of the mask (1) is distorted according to the detected distortions by means of the optical unit (9) and is adapted to the distortions of the substrate (2).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Abbilden einer Maske (1) auf einem Substrat (2), wobei mittels einer Beleuchtungseinheit (8) und einer optischen Einheit (9) die Maske (1) auf dem Substrat (2) abgebildet wird. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Das Verfahren und die Vorrichtung sollen dahingehend ausgebildet werden, dass eine präzise Abbildung der Maske (1) und deren kleinen Strukturen auf dem Substrat (2) mit hoher Funktionssicherheit erreicht wird, wobei Verzerrungen des Substrats (2) korrigiert werden sollen. Es wird vorgeschlagen, dass die Beleuchtungseinheit (8) und die optische Einheit (9) relativ zur Maske (1) und dem Substrat (2) bewegt werden, dass Verzerrungen des Substrats (2) erfasst werden, und dass in Abhängigkeit der erfassten Verzerrungen mittels der optischen Einheit (9) die Abbildung der Maske (1) verzerrt und den Verzerrungen des Substrats (2) angepasst wird.

### **Verfahren und Vorrichtung zum Abbilden einer Maske auf einem Substrat**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Abbilden einer Maske auf einem Substrat gemäß der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Aus der DE 39 10 048 C2 sind ein derartiges Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Durchführung desselben bekannt. Es handelt sich hierbei um ein Ausrichtsystem in der Photolithographie, mit welchem eine Maske, ein großflächiges Substrat und ein Übertragungssystem, welches eine Beleuchtungseinheit und eine optische Einheit enthält, relativ zueinander ausrichtbar sind, wobei Strukturen von der Maske in kleinen Bereichen auf das Substrat übertragbar sind. Bei der Übertragung bzw. Abbildung der Struktur der Maske auf das Substrat wird auf dieses eine Markierung aufgebracht, und beim Abtasten der Strukturen der Maske erfolgt eine kontinuierliche, auf den jeweiligen Bereich bezogene Ausrichtung der Maske bezüglich des Substrats. Die gegenseitige Ausrichtung der Maske und des Substrats erfordert einen gewissen apparativen Aufwand, und vor allem infolge von Zeitverzögerungen und Trägheiten des Ausrichtsystems sind Grenzen hinsichtlich der Übertragungsgeschwindigkeit und des erzielbaren Durchsatzes gegeben.

**BESTÄTIGUNGSKOPIE**

Im folgenden wird als Maske eine Vorlage bezeichnet, welche zur Fertigung beispielsweise von Leiterplatten oder Flachbildschirmen verwendet wird und als Film, Emulsionsmaske, Chrommaske oder dergleichen ausgebildet ist. Derartige Masken enthalten kleine Strukturen, wie beispielsweise Leiterbahnen oder allgemein geometrische Strukturen, welche auf ein Substrat abzubilden bzw. zu kopieren sind. Die typische Größe derartiger Strukturen hängt von der jeweiligen Anwendung ab und beträgt heute in der Leiterplattentechnologie beispielsweise 10 bis 50  $\mu\text{m}$ . Bei der Produktion von Flachbildschirmen ist mit Strukturgrößen bis hinab zu 1 bis 2  $\mu\text{m}$  zu rechnen. Die Toleranz bei der Platzierung der Strukturen bzw. deren Lagegenauigkeit ist deutlich kleiner als die Strukturgrößen selbst. Als Substrate werden ebene plattenförmige Produktions-Elemente oder Produktions-Nutzen bezeichnet. So erfordert beispielsweise die Produktion von Leiterplatten das mehrfache Kopieren von unterschiedlichsten Strukturen auf Vorstufen-, Zwischenprodukte und das Endprodukt, welches die Trägerplatte für die elektronischen Bauelemente und die benötigten elektrischen Verbindungen bildet. Die Größe von Leiterplatten liegt heute in der Größenordnung bis zu 600 x 800  $\text{mm}^2$ , und aufgrund der vorgenannten Vorstufen-, Zwischen- und Endprodukte, wird von einem Mehrfachnutzen gesprochen. Bei der Produktion von Flachbildschirmen treten gleichfalls sehr ähnliche Verfahrensschritte auf, wobei für die Strukturgrößen und Toleranzgrenzen deutlich kleinere Dimensionen zu beachten sind. In der nachfolgenden tabellarischen Zusammenfassung sind typische Anwendungen bzw. Substrate angegeben, die im Folgenden auch Nutzen oder Nutzelemente genannt werden:

1.           **Leiterplatten:** Strukturierung der Kupferflächen, Strukturierung flexibler Leiterplatten, Vernetzung des Lötstopplackes bzw. Positivlackes.
2.           **Bildschirmtechnologie:** Lackbild zur Strukturierung von metallischen oder nichtleitenden Schichten, Vernetzung der Farbfilter, Erstellung von Strukturen auf flexiblen Trägermaterialien, wie z. B. Folienbildschirmen.
3.           **Mikrostrukturtechnik:** Erstellung von Arbeitskopien, Direktbelichtung großer ebener Werkstücke, wie z. B. fotovoltaischer Elemente.

Ebene, flache Substrate sind in der Regel recht dünn und weisen eine Dicke von wenigen  $\mu\text{m}$  (Mikrometern) bis vielen mm (Millimetern) auf und sind mit einer lichtempfindlichen Schicht beschichtet, welche zu strukturieren ist. Die Nutzelemente durchlaufen

verschiedene Produktionsschritte, wobei hohe Temperaturunterschiede und sonstige mechanische Beanspruchungen auftreten können. Derartige Beanspruchungen können zu dauerhaften geometrischen Veränderungen führen. So werden Leiterplatten beispielsweise aus mehreren Lagen von Trägerfolien zusammengesetzt, und dieses Verfahren wird oftmals als Verpressen bezeichnet. Die derart zusammengesetzten oder verpressten Zwischenprodukte weisen Dimensionsabweichungen auf, welche im nächsten Produktionsschritt berücksichtigt werden müssen, damit beispielsweise feine Leiterbahnen zur Deckung mit ebenso kleinen Durchkontaktierungen gebracht werden können. Entsprechend sind bei der Herstellung von Bildschirmen die einzelnen Bildelemente zur kontaktieren.

Die im Produktionsprozess auftretenden Verzerrungen der Nutzelemente beschränken grundsätzlich die minimal sinnvoll herzustellenden Strukturen. Damit mittels der Strukturen unterschiedlicher Lagen oder Nutzelemente die gewünschte Funktionen realisiert werden können, muss eine minimale Überlappung gewährleistet sein. Hierzu ist es erforderlich, dass bei einer minimalen Strukturgröße  $Z$  und unter Berücksichtigung einer Fertigungstoleranz  $dZ$  die zugehörige Gegenstruktur die Größe  $Z + 2 \times dZ$  aufweist. Somit ist sicher gestellt, dass bei einem Lagefehler  $dZ$  die Strukturen sich überlagern. Ist hingegen die Abweichung zwischen der Struktur bzw. der Maske und dem Nutzelement zu groß, so überlagern sich die einander zugeordneten Strukturen nicht mehr. Weiterhin sind die bei einer optischen Abbildung grundsätzlich vorhandenen Probleme zu beachten, nämlich die Lagegenauigkeit und die Bildschärfe. Dies bedeutet, dass das Bild der Vorlage bzw. Maske möglichst lagegenau auf der Struktur bzw. dem Nutzen abgebildet werden muss und die Fokusebene des Bildes auf der lichtempfindlichen Schicht des Substrates liegen muss.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, zum einen das Verfahren und zum anderen die Vorrichtung dahingehend auszubilden, dass unter Berücksichtigung der vorstehend aufgezeigten Zusammenhänge eine präzise Abbildung der Vorlagen oder Masken und deren kleinen Strukturen auf dem Substrat bzw. dem Nutzelement mit hoher Funktionssicherheit erreicht wird. Die Erstellung präziser Kopien kleiner Strukturen auf bevorzugt großen Substraten und/oder Nutzelementen soll problemlos durchführbar sein. Es sollen möglichst kleine Strukturen der Maske mit hoher Positionsgenauigkeit auf dem Substrat abgebildet und / oder erzeugt werden. Ferner sollen das

- 4 -

Verfahren und die Vorrichtung wirtschaftlich einsetzbar sein und einen hohen Durchsatz ermöglichen.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens gemäß der im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Hinsichtlich der Vorrichtung wird die Aufgabe gemäß der im Patentanspruch 9 angegebenen Merkmale gelöst.

Das vorgeschlagene Verfahren und die zur Durchführung desselben vorgeschlagene Vorrichtung ermöglichen mit hoher Funktionssicherheit und einem vergleichsweise geringen Aufwand die Erstellung präziser Kopien von kleinen Strukturen auf insbesondere großen Substraten bzw. die Erzeugung kleiner Strukturen auf einem verzerrten Substrat mit hoher Positionierungsgenauigkeit. Erfindungsgemäß wird die Maske, welche das in den Sollmaßen vorliegende Original darstellt, bei der Abbildung mittels der optischen Einheit bzw. im Kopierprozess korrigiert und/oder verzerrt, und somit wird das Bild der Maske auf dem Substrat bzw. dem Nutzelement dessen individuellen Verzerrungen angepasst. Somit werden selbst kleinste Strukturen mit hoher Positionierungsgenauigkeit auf dem verzerrten Substrat erzeugt, wobei nachfolgend dieser Prozess als Verzerren des Maskenbildes bezeichnet wird.

Das Bild der Maske kann erfindungsgemäß in jede Richtung individuell verzerrt und damit korrigiert und insbesondere derart skaliert werden, dass Verzerrungen des Substrats kompensiert werden. Erfindungsgemäß werden Höhe und Breite des Maskenbildes bzw. dessen Abmessungen in der X-Ebene und der Y-Ebene des Substrats dessen etwaigen Verzerrungen angepasst. Ferner kann in bevorzugter Weise eine Kompensation höherer Ordnungen durchgeführt werden, wobei die Breite des Bildes eine Funktion der Höhe desselben darstellt oder umgekehrt. So wird insbesondere eine rechteckige Vorlage oder Maske entsprechend den festgestellten Verzerrungen des Substrats zu einem Parallelogramm oder ganz allgemein zu einem Trapez transformiert. Die vorgeschlagene Verzerrung und/oder Transformation wird erfindungsgemäß für jedes Nutzelement und/oder für jeden Teilbereich desselben bzw. des Substrats individuell bestimmt. Die insbesondere gemäß der Verzerrungen des Substrats ermittelten Korrektur- und/oder Transformationsparameter dienen zur Korrektur des Maskenbildes bei der Abbildung bzw. beim Kopierprozess. Die Verzerrung des Maskenbildes und/oder die Ausrichtung erfolgt erfindungsgemäß durch überlappendes und/oder kontinuierliches Aneinanderfügen von Einzelabbildungen, welche jeweils kleiner sind als die Gesamt-

abbildung. Die Verzerrungen werden im Rahmen der Erfindung insbesondere durch Translation und/oder Rotation und/oder Scherung und/oder richtungsabhängige Skalierung durchgeführt. Das Verfahren und / oder die Vorrichtung sind weder auf bestimmte Strukturgrößen beschränkt, noch sind verfahrensbedingte Toleranzgrenzen zu beachten. Auch bestehen keine Grenzen hinsichtlich der Größe bzw. Abmessungen des Substrates.

Damit das Bild der Maske oder Vorlage möglichst lagegenau auf dem Substrat bzw. Nutzen abgebildet wird und eine exakte Ausrichtung erreicht wird, weisen sowohl die Maske als auch das Substrat bevorzugt mechanische Vorrichtungen oder Markierungen auf. Im einfachsten Fall können hierzu Referenzbohrungen vorgesehen sein, mittels welchen die Lage der Maske sowie des Nutzelements individuell mittels Stiften fixiert werden. Bei sehr dünnen Nutzelementen und den hierbei auftretenden großen Verzerrungen ist dies nicht zweckmäßig, da das Substrat sich wellen könnte. Bei recht dünnen Nutzelementen werden daher Markierungen angebracht, beispielsweise Fiduchals bzw. Ausrichtmarken oder Alinementmarkierungen, welche über eine zugeordnete Optik und ein Kamerasystem ausgewertet werden. Durch Vermessung derartiger Markierungen werden Informationen über die Lage der Maske und/oder die Lage des Nutzelements festgestellt. Die entsprechenden Messwerte dienen zur Berechnung der Verzerrung, wie z.B. der Verschiebung oder der Rotation des Nutzelements. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der zur Durchführung desselben vorgeschlagenen Vorrichtung gelangen einfache optische Komponenten zum Einsatz, und erfindungsgemäß wird das Maskenbild verzerrt, und unter Berücksichtigung der erfassten Verzerrungen des Nutzelements auf der erforderlichen korrekten Position des Nutzelements abgebildet. Ferner wird erfindungsgemäß zur Erhaltung eines optimalen Bildes, insbesondere mit korrekter Strukturgröße, Kantenqualität und Kantensteilheit auf dem Nutzelement, die Fokusebene des Bildes auf der lichtempfindlichen Oberfläche des Substrats abgebildet. Hierzu ist eine Fokussiervorrichtung vorgesehen, mittels welcher die Länge des optischen Pfades zwischen der Maske und dem Nutzelement veränderbar ist, ohne dass der Abbildungsmaßstab beeinflusst wird. Die Fokussiervorrichtung ist in zweckmäßiger Weise Bestandteil der optischen Einheit.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird zu jeder Zeit und / oder jeweils nur ein kleiner Teil der Maske mittels der optischen Einheit auf dem Nutzelement abgebildet. Das Gesamtbild auf dem Nutzelement wird durch Relativbewegung zwischen

Maske und Substrat einerseits gegenüber der optischen Einheit andererseits erstellt, welche auch als abbildende Optik bezeichnet wird. Es ist von besonderer Bedeutung, dass die Lage der Maske bezüglich des Substrats während der Belichtung nicht verändert wird. Die mechanische Bewegung zwischen der optischen Einheit, bevorzugt auch der Beleuchtungseinheit, einerseits und der Maske sowie dem Substrat andererseits wird in vorteilhafter Weise so langsam wie möglich durchgeführt, wobei die mit dem mechanischen System grundsätzlich möglichen, recht hohen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen nicht ausgereizt werden, um die Kräfte auf die optischen Komponenten bzw. die Maske und das Substrat so gering wie möglich zu halten. Das mechanische System enthält bevorzugt einen Käfig, mittels welchem die Maske und das Substrat in der erforderlichen Weise zueinander fixiert und fest angeordnet sind. Zum einen wird ein möglichst großes Bildfeld angestrebt, um die nötigen mechanischen Bewegungen bzw. Käfigbewegungen zum Zusammensetzen des Gesamtbildes klein zu halten. Zum anderen wird ein kleines Bildfeld angestrebt, damit die erfindungsgemäße Verzerrung, insbesondere Skalierung durchgeführt werden kann. Das für die Verzerrung benötigte kleine Bildfeld wird mittels der optischen Einheit vergleichsweise schnell über die Maske und das Nutzelement bewegt. Hierzu wird in vorteilhafter Weise ein Lichtscan senkrecht zur Richtung der Bewegung des mechanischen Systems bzw. des Käfigs vorgesehen. Die Bewegung des beleuchteten Bereiches auf der Maske, im folgenden Beleuchtungsfleck genannt, ist aus zwei Bewegungen zusammengesetzt. In zweckmäßiger Weise bewegt sich das mechanische System bzw. der Käfig relativ zur optischen Einheit vergleichsweise langsam, und zwar in der Größenordnung von 0,1 bis 1 m/sec. Der Beleuchtungsfleck hingegen bewegt sich relativ zur optischen Einheit bzw. abbildenden Optik vergleichsweise schnell, und zwar bevorzugt in der Größenordnung von 1 bis 10 m/sec.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird das Bild aus mehreren Teilbildern zusammengesetzt, wobei für die Stoßstellen am Rand der jeweiligen Teilbilder folgender Sachverhalt berücksichtigt wird. Fügen sich die Teilbilder nicht exakt zusammen, so entstehen Lücken im Gesamtbild, welches damit unbrauchbar ist. Überlappen sich hingegen die Teilbilder, so kann es zu einer Überbelichtung in derartigen mehrfach abgebildeten Bereichen kommen, wobei in mehrfach belichteten Bereichen der lichtempfindlichen Schicht des Substrats die Strukturgrößen vom Sollwert abweichen können. Daher wird erfindungsgemäß in den Randbereichen, in welchen sich Teilbilder überlappen, die Belichtungsintensität abgesenkt. In vorteilhafter Weise gelangt hierfür



eine Beleuchtungseinheit bzw. eine Lichtquelle zum Einsatz, welche ein zumindest näherungsweise gaußförmiges Strahlprofil und / oder eine Lichtintensitätsverteilung zumindest näherungsweise entsprechend einer gauß'schen Verteilungskurve aufweist.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die zur Durchführung desselben vorgeschlagene Vorrichtung ermöglichen die beliebig und / oder unter Berücksichtigung von Verzerrungen des Substrats bzw. des Nutzelements verzerrte Abbildung der Maske auf dem Substrat, wobei die abbildende Optik bzw. optische Einheit zusammen mit der Beleuchtungseinheit relativ zur Maske und dem Substrat bewegt wird. In bevorzugter Weise ist das Bildfeld der Abbildungsoptik kleiner als die gesamte Abbildung und liefert eine vorgegebene Anzahl von Einzelabbildungen. Die gesamte Abbildung der Maske wird somit aus Einzelabbildungen zusammengesetzt. Die jeweilige Einzelabbildung wird mittels aktiver Verstellelemente in der abbildenden Optik bzw. der optischen Einheit in der XY-Ebene auf dem Substrat bewegt. Durch entsprechende Ansteuerung der genannten Verstellelemente wird die Gesamtabbildung aus den Einzelabbildungen derart zusammengesetzt, dass die erforderliche Verzerrung in der Gesamtabbildung erreicht wird.

Die genannte Verzerrung wird durch Vermessen von Marken, insbesondere Alignment-Marken, auf der Maske und dem Substrat oder durch Vorgabe von Verzerrungswerten berechnet und / oder vorgegeben, wobei in vorteilhafter Weise auch eine Kombination von Messwerten und Vorgabewerten durchgeführt werden kann. Aufgrund der genannten Vermessung werden Relativpositionen von Markierungen der Maske zu Markierungen des Substrats bestimmt. Für das erfindungsgemäße Korrekturverfahren wird die Abbildung derart verzerrt, dass die Markierungen des Substrats abgebildet werden. Hierbei kann eine Korrektur der Maske und / oder des Substrats durchgeführt werden.

In bevorzugter Weise wird eine Bildverzerrung und / oder Ausrichtung durch überlappen- des und / oder kontinuierliches Aneinanderfügen von Einzelabbildungen durchgeführt, welche jeweils kleiner sind als die Gesamtabbildung der Maske. Die Verzerrungen werden insbesondere durch Translation, Rotation, Scherung oder richtungsabhängige Skalierung durchgeführt. In vorteilhafter Weise wird durch weiches Ausblenden der Beleuchtungsintensität und / oder Überlappen der einzelnen Beleuchtungsflecken eine zumindest näherungsweise konstante Intensität über die Maskenfläche im zeitlichen Mittel vorgegeben. Der beleuchtete Bereich der Maske wird über die optische Einheit

oder Abbildungsoptik auf das Substrat abgebildet, wobei die Abbildung die Struktur der Maske mit dem Intensitätsverlauf der Beleuchtung auf dem Substrat darstellt und / oder eine zumindest näherungsweise konstante Bildintensität im zeitlichen Mittel auf dem Substrat erreicht wird. In bevorzugter Weise wird eine gaußartige Intensitätsverteilung des Beleuchtungsflecks vorgegeben, und zwar insbesondere durch Einsatz eines Lasers als Lichtquelle.

Ferner wird im Rahmen der Erfindung die Bewegung des Beleuchtungsflecks auf der Maske aus zwei Bewegungen zusammengesetzt, wobei vorteilhaft eine schnelle Scanbewegung der Beleuchtung und / oder des Beleuchtungsflecks einerseits und eine hierzu vergleichsweise langsamere Bewegung der Mechanikeinheit, insbesondere eines Käfigs, andererseits erfolgt, auf welcher die Maske sowie das Substrat justiert und fixiert angeordnet sind. Ferner sind eine Korrekturereinheit und Ansteuerungseinheit vorgesehen, welche je nach Position des Beleuchtungsflecks auf der Maske die Korrekturereinheit ansteuert, welche insbesondere in die optische Einheit integriert ist. Hierbei wird insbesondere die zusammengesetzte Bewegung des Beleuchtungsflecks auf der Maske berücksichtigt.

In einer besonderen Ausgestaltung erfolgt eine Steuerung der Beleuchtungsintensität auf der Maske, durch Ansteuern der Beleuchtungseinheit oder zugeordneter steuerbarer Dämpfungselemente. Dies kann insbesondere bei gepulsten Lasern durch Variieren der Pulsrate erfolgen. Des Weiteren kann die Steuerung der Beleuchtungsintensität in Abhängigkeit von der Position des Beleuchtungsflecks auf der Maske durchgeführt werden. Zusätzlich oder alternativ kann die Steuerung der Beleuchtungsintensität in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Mechanikeinheit bzw. des Käfigs durchgeführt werden. Hierdurch wird vorteilhaft eine zumindest näherungsweise konstante Intensitätsverteilung im zeitlichen Mittel auf der Maske erreicht, obgleich die Geschwindigkeit der Mechanikeinheit nicht konstant ist.

Vorteilhaft wird eine Kalibrierung des optischen Pfades durchgeführt, wobei mit einer hierfür vorgesehenen oder mit der vorhandenen Lichtquelle der Beleuchtungseinheit eine Referenzstruktur auf einer bevorzugt auf dem Tisch der Mechanikeinheit fixierten Kamera abgebildet wird, welche als Justagekamera bezeichnet wird. In zweckmäßiger Weise wird ferner ein Nachjustieren des Lichtpfades durchgeführt, und zwar über das aktive Elemente im Optikpfad und/oder der optischen Einheit. Es erfolgt eine Kalibrie-

rung der optischen Messeinrichtungen an der Referenzmarke und der Kamera des Tisches.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung enthält die optische Einheit zwei Linsen oder Linsensysteme in einer sogenannten 4f-Anordnung, wobei die Maske im frontseitigen Brennpunkt des ersten Linsensystems angeordnet ist. Das Substrat ist in dem rückseitigen Brennpunkt des zweiten Linsensystems angeordnet. Hierbei wird der Strahlengang vor dem ersten Linsensystem oder nach dem zweiten Linsensystem insbesondere über einen Retroreflektor punktgespiegelt. Weiterhin hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Abbildungsoptik oder optische Einheit mit einer Korrektureinheit derart zu kombinieren, dass die Abbildung senkrecht zur optischen Achse in der Bildebene verschoben wird. Hierzu werden je nach spezifischen Anforderungen die nachfolgenden Maßnahmen einzeln oder in Kombination vorgesehen. Mittels einer planparallelen Platte wird durch Verkippen senkrecht zur optischen Achse das Strahlenbündel parallel zur optischen Achse verschoben. Ferner kann ein Spiegel vorgesehen sein, der senkrecht zum Lot des einfallenden und ausfallenden Strahlenbündels gekippt werden kann. Weiterhin kann ein Retroreflektor vorgesehen sein, der senkrecht zur optischen Achse verschiebbar ist. Des Weiteren kann zur Kalibrierung des Optikpfades der Lichtweg mittels der Abbildungsoptik verlängert oder verkürzt werden, und zwar bevorzugt durch Bewegen des genannten Retroreflektors. Hierdurch kann in zweckmäßiger Weise die Bildebene genau auf der Substratoberfläche abgebildet werden. Die Einstellung der Bildebene kann entweder statisch durch Sollwertvorgabe oder dynamisch durch Lagemessung der Substratoberfläche eingestellt werden.

In bevorzugter Weise werden zur Erhöhung des Durchsatzes des Systems bzw. der Vorrichtung mehrere, bevorzugt parallele Strahlengänge eingesetzt. Hierbei werden mittels der Beleuchtungseinheit mehrere Beleuchtungsflecken auf der Maske erzeugt, welche durch mehrere optische Einheiten und / oder Abbildungs- und Korrektureinheiten auf dem Substrat abgebildet werden. Des Weiteren kann in vorteilhafter Weise eine Vervielfältigung einer Maske dadurch erfolgen, dass mehrere parallele Strahlengänge mit mehreren Beleuchtungsflecken auf der Maske erzeugt werden. Auch kann im Rahmen der Erfindung eine Maske dadurch vervielfältigt werden, dass mittels eines Strahlenteilers in der optischen Einheit mehrere parallele Strahlengänge auf dem Substrat erzeugt werden.

Besondere Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Figurenbeschreibung angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert, ohne dass insoweit eine Beschränkung erfolgt. Es zeigen:

- Fig. 1        eine Prinzipdarstellung einer Korrektur bzw. Bildverzerrung durch Aneinanderfügen von Einzelabbildungen,
- Fig. 2        eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels der Vorrichtung,
- Fig. 3        eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur verzerrten Abbildung einer Maske,
- Fig. 4        eine Prinzipdarstellung zur vektoriellen Addition der Beleuchtungsposition aus der Position der mechanischen Einheit und der Beleuchtungseinheit,
- Fig. 5        eine schematische Darstellung sich überlappender Beleuchtungsflecke einer Beleuchtungseinheit mit Gauß'scher Intensitätsverteilung in einer Raum-Richtung,
- Fig. 6        ein Ausführungsbeispiel einer optischen Einheit mit zwei Linsensystemen in einer sogenannten 4f-Anordnung mit einem nachgestellten Retroreflektor,
- Fig. 7        eine schematische Darstellung einer Beleuchtungseinheit zur Erzeugung von zwei Beleuchtungsflecken auf der Maske,
- Fig. 8, 9      schematisch Anordnungen zur simultanen Vervielfältigung von Masken bzw. zur Mehrfachabbildung.

Fig. 1 zeigt das Prinzip der Bildverzerrung durch Aneinanderfügen von Einzelabbildungen. Ein Teilbereich der Maske 1 wird auf dem Substrat 2 abgebildet, wobei mittels einer Beleuchtungseinheit auf der Maske 1 ein Beleuchtungsfleck 3 erzeugt wird und als Einzelabbildung 5 auf dem Substrat 5 abgebildet wird. Die gesamte Abbildung wird aus überlappenden Einzelabbildungen 5 zusammengesetzt, wobei jede Einzelabbildung eine unverzerrte 1:1 Abbildung der Maske bzw. des zugeordneten jeweiligen Beleuchtungsflecks ist. Die Verzerrung der Gesamtabbildung entsteht durch eine Verschiebung der Einzelabbildungen 5 auf dem Substrat 2 durch einen Korrekturvektor 4. Die Verzerrung des Substrats 2 wird durch Vermessen von Markierungen, insbesondere Alignmentmarken, auf der Maske 1 und dem Substrat 2 oder durch Vorgabe von Verzerrungswerten berechnet, wobei in zweckmäßiger Weise auch eine Kombination von Meßwerten und Vorgabewerten durchführbar ist. Aufgrund der Vermessung werden die Relativpositionen von Maskenmarken zu Substratmarken bestimmt, wobei gemäß des Korrekturverfahrens die Abbildung derart verzerrt wird, dass die Maskenmarken auf die genannten Substratmarken abgebildet werden. Hierbei können die Maske 1 oder das Substrat 2 und gegebenenfalls auch beide korrigiert werden. Die genannte Verschiebung bewirkt im Überlappungsbereich 6 eine Unschärfe, wobei entsprechend der tolerierbaren Unschärfe sowie der Größe des Überlappungsbereiches 6 der maximale Versatz zweier benachbarter Einzelabbildungen 5 vorgegeben wird.

In Fig. 2 ist eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels der Vorrichtung dargestellt, deren Mechanikeinheit einen Käfig 7 enthält, mittels welchem die Maske 1 und das Substrat 2 beabstandet und fest zueinander fixiert sind. Getrennt von der Mechanikeinheit bzw. dem Käfig 7 sind eine Beleuchtungseinheit 8, eine optische Einheit 9, eine Maskenkamera 10 und eine Substratkamera 11 angeordnet. Auf dem Käfig 7 sind ferner eine Justagekamera 12 und eine Referenzmarke 13 fest fixiert. Zur Bewegung des Käfigs 7 in der XY-Ebene sind ein X-Antrieb 15 und ein Y-Antrieb 16 vorgesehen. Der Käfig 7 und die erläuterten auf diesem fixierten Komponenten sind erfindungsgemäß relativ zu den übrigen Komponenten, wie insbesondere Beleuchtungseinheit 8, optische Einheit 9, welche zueinander fest montiert sind und in definierter geometrischer Zuordnung zueinander stehen, relativ bewegbar. Somit sind die Maske 1, das Substrat 2 und die Justagekamera 12 mit dem Käfig 7 zu allen anderen Komponenten der Vorrichtung relativ bewegbar angeordnet.

- 12 -

Mittels der Beleuchtungseinheit 8 wird die Maske 1 in einem Teilbereich, dem genannten Beleuchtungsfleck 3 hinterleuchtet. Dieser Teilbereich bzw. Beleuchtungsfleck 5 wird unverzerrt und unvergrößert über die optische Einheit 9 auf das Substrat 2 abgebildet. Die optische Einheit 9 enthält eine Abbildungs- und Korrekturereinheit und befindet sich im optischen Pfad zwischen der Maske 1 und dem Substrat 2. Mittels der genannten Korrekturereinheit wird die jeweilige Einzelabbildung auf dem Substrat 2 in der XY-Ebene verschoben. Zur Bestimmung der damit erreichten Verzerrung werden auf der Maske 1 und dem Substrat 2 mittels der Kamera und nachgeschalteter Bildverarbeitungssoftware eines Bildverarbeitungssystems die Positionen von Registriermarken 13 bestimmt. Aus den Positionen der Registriermarken 14 werden die Ansteuerdaten für die genannte Abbildungs- und Korrekturereinheit neu berechnet.

Zur Justage des Optikpfades wird der Käfig 7 in eine Position gefahren, in welcher die Referenzstruktur oder Referenzmarke 13 von der Beleuchtungseinheit 8 hinterleuchtet wird. Die Referenzmarke 13 wird mittels der optischen Einheit 9, welche die Abbildungs- und Korrekturereinheit bildet, auf die Justagekamera 12 abgebildet. Durch entsprechende Ansteuerung der Korrekturereinheit der optischen Einheit wird die Abbildung der Referenzmarke 13 auf eine Standardposition auf der Justagekamera 12 abgebildet. Somit ist das Koordinatensystem der Maske 1 auf das Koordinatensystem des Substrats 2 bezogen. Die hierbei ermittelten Ansteuerwerte werden als Offsetwerte in der Korrekturberechnung für die spätere Maskenabbildung mit berücksichtigt. Anschließend wird die Referenzstruktur oder Referenzmarke 13 unter die Maskenmeßkamera 10 gefahren und die Position der Referenzmarke 13 wird vermessen. Hierdurch ist die Position der Maskenkamera 10 in bezug zur Referenzmarke 13 bestimmt. Analog hierzu wird mit der Substratkamera 11 verfahren, wobei als Referenzmarke insbesondere die Position des CDC-Chips in der Justagekamera 12 verwendet wird. Die somit ermittelte Position der Maskenkamera 10 und der Substratkamera 11 werden bei der Messung von Alignmentmarken auf der Maske und/oder den Masken bzw. dem Substrat und/oder den Substraten als Offsetwerte berücksichtigt.

In Fig. 3 ist eine schematische Übersicht einer Vorrichtung zur verzerrten Abbildung der Maske 1 dargestellt. Als Lichtquelle der erwähnten Beleuchtungseinheit ist ein Laser 17 vorgesehen, welcher vorzugsweise eine mittlere Leistung von 1 bis 10 W in einem üblichen Wellenbereich für Belichtungen von Leiterplatten im Bereich von 350 bis 400 nm aufweist. Mit einer Strahlaufweitungseinheit 18 wird der für die jeweilige Anwen-

- 13 -

dung geforderte Beleuchtungsdurchmesser eingestellt. Mittels einer Scaneinrichtung 19 wird der aufgeweitete Laserstrahl senkrecht zur Oberfläche der Maske 1 bewegt. Wie bereits erläutert, sind die Maske 1 und das Substrat 2 fest auf dem Käfig 7 der Mechanikeinheit gehalten. In dem optischen Pfad zwischen der Maske 1 und dem Substrat 2 ist die optische Einheit 9 mit aktiven Elementen zur Positionskorrektur und zur Abbildung des Beleuchtungsflecks 3 auf dem Substrat 2 angeordnet. Die optische Einheit 9 enthält eine planparallele Platte 20 mit einem 2-Achsen-Kippantrieb 21, ein Linsensystem oder eine Linse 22, einen Scanspiegel 23 mit zugeordnetem 2-Achsen-Kippantrieb 24, ein zweites Linsensystem 22 sowie einen Retroreflektor 25 mit zugeordneten XYZ-Antrieb 26. Das Bildfeld der Abbildung ist derart groß vorgegeben, dass in jeder Position des Beleuchtungsscans der gesamte beleuchtete Bereich der Maske 1 auf das Substrat 2 abgebildet wird. Der Käfig 7 ist mittels der erwähnten X-Y-Antriebe mit einer Positionsregelung 27 in der erforderlichen Weise unabhängig von der Beleuchtungseinheit 8 und der optischen Einheit 9 relativ zu diesen bewegbar. Die Positionssteuerung bzw. -regelung des Käfigs 7, der aktiven Elemente 20, 23, 25 der optischen Einheit, der Laser 17 und die Scaneinrichtung bzw. der Beleuchtungsscanner 19 sind an ein Rechnersystem 28 angeschlossen und/oder werden mittels des Rechnersystems 28 gesteuert. Zur Bestimmung der für die Korrekturen erforderlichen Meßdaten ist ein Bildverarbeitungssystem 29 dem Rechnersystem 28 zugeordnet bzw. in dieses integriert, wobei an das Bildverarbeitungssystem 29 die oben genannten Kameras angeschlossen sind. Mittels des Bildverarbeitungssystems 29 werden die Positionen von Registriermarken in den Kamerabildern berechnet und mit der erfaßten Käfigposition werden deren absolute Position auf der Maske 1 und/oder dem Substrat berechnet. Auf der Ebene der Maske 1 des Käfigs 7 ist eine Referenzmarke 13 angeordnet und auf der Ebene des Substrats 2 ist die Justagekamera 12 angeordnet. Die Referenzmarke 13 wird mittels der optischen Einheit auf die Justagekamera 12 abgebildet. Auf diese Weise werden die genannten aktiven Elemente 20, 23, 25 der optischen Einheit bei Bedarf nachjustiert. Das gesamte Rechnersystem 28 wird über einen Bedienrechner 13 angesteuert, welchem eine geeignete Bedieneroberfläche, insbesondere auf einem Bildschirm oder Monitor zugeordnet ist.

In vorteilhafter Weise erfolgt die Steuerung der Beleuchtungsintensität auf der Maske 1 durch Ansteuern der Beleuchtungsquelle, insbesondere des Lasers 17, über das Rechnersystem 28. So wird beispielsweise bei einem gepulsten Laser 17 durch Variation der Pulsrate oder bei einem CW-Laser durch eine steuerbare Dämpfung die Intensität

- 14 -

beeinflusst. Dem Rechnersystem 28 werden jederzeit die Systemdaten, insbesondere die Position des Beleuchtungsflecks auf der Maske oder die Geschwindigkeit des Tisches bzw. des Käfigs 7 zur Verfügung gestellt. Somit wird die Intensität in Abhängigkeit der genannten und/oder anderer Parameter gesteuert. Des Weiteren wird die Intensität an unterschiedliche Geschwindigkeiten des Käfigs 7 derart angepaßt, dass die vorgegebene und/oder gewünschte Intensitätsverteilung in der Summe auf der Maske 1 gegeben ist. Hierdurch wird sichergestellt, dass während der Beschleunigungs- und/oder Abbremsphase des Käfigs 7 die Belichtung durchgeführt werden kann.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung besitzt nachfolgende Gliederung.

1. Beleuchtungspfad mit Lichtquelle, insbesondere Laser 17, Aufweitungs-optik oder Strahlaufweitung 18, Beleuchtungsscanner oder Scaneinrichtung 19.
2. Eine Maskenhalterung, welche an verschiedene Maskentypen, wie Chrommasken, Emulsionsmasken oder Filme, angepaßt ist.
3. Optische Einheit 9 mit Eingangsoptik, XY-Scanner, Ausgangsoptik und Fokuseinrichtung.
4. Substrathalterung, welche angepaßt ist an verschiedene Nutzelemente, wie dünne Folien, Endlosfolien, Leiterplatten oder Glassubstrate.

Wie in Fig. 4 dargestellt, wird die Position des Beleuchtungsflecks 3 auf der Maske 1 durch die XY-Position des Käfigs und die Stellung des Beleuchtungsscanners 19 bestimmt. Durch die Kombination einer schnellen Scanbewegung 32 mit einer hierzu relativ langsamen Käfigbewegung 31 wird eine streifenweise Beleuchtung der Maske 1 durchgeführt. Die optische Einheit 9 ist dahingehend ausgebildet, dass sie den Beleuchtungsfleck 3 in allen Scanpositionen auf dem Substrat 2 abbilden kann. Die Bewegung des Beleuchtungsflecks 3 wird erfindungsgemäß derart eingestellt, dass sich die beleuchteten Bereiche überlappen. Durch die Überlappung zusammen mit den gaußartigen Intensitätsverteilung wird im zeitlichen Mittel eine annähernd konstante Intensitätsverteilung über die zu beleuchtende Fläche der Maske erreicht. Es wird ein weiches Ausblenden der Beleuchtungsintensität vorgegeben, wobei die Beleuchtungsintensität im Randbereich des Beleuchtungsflecks 3 um einen vorgegebenen Betrag kleiner ist als im Zentrum des Beleuchtungsflecks 3, bevorzugt entsprechend der gaußartigen Intensitätsverteilung des Lasers. Der beleuchtete Bereich der Maske 1 wird über die optische



Einheit 9 auf das Substrat 2 abgebildet, wobei das Abbild die Struktur der Maske 2 mit dem Intensitätsverlauf der Beleuchtung ist. Somit wird im zeitlichen Mittel eine zumindest näherungsweise konstante Bildintensität auf dem Substrat 2 erreicht.

Die Intensität der Beleuchtung wird durch das Rechnersystem gesteuert. Dies kann durch Ansteuern der Beleuchtungsquelle oder steuerbarer Dämpfungselemente erfolgen, beispielsweise mittels eines gepulsten Lasers durch Variieren der Pulsrate. Des Weiteren erfolgt die Steuerung der Beleuchtungsintensität in Abhängigkeit von der Position des Beleuchtungsflecks 3 auf der Maske 1. Ferner wird im Rahmen der Erfindung die Intensität der Beleuchtung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Käfigs vorgegeben, so dass eine konstante Intensitätsverteilung im zeitlichen Mittel auf der Maske 1 erreicht wird, obgleich die Geschwindigkeit des Käfigs nicht konstant ist. Außer der Variation der Pulsrate bei gepulsten Lasern kann, insbesondere bei einem CW-Laser, die Intensität der Beleuchtung durch eine steuerbare Dämpfung vorgegeben werden. Dem Rechnersystem stehen jederzeit die Systemdaten, wie insbesondere Position des Beleuchtungsflecks 3 auf der Maske 1 oder die Geschwindigkeit des Käfigs bzw. dessen Tisches zur Verfügung. Somit ist es möglich, die Intensität der Beleuchtung in Abhängigkeit von weiteren Parametern zu steuern. Die Intensität wird zweckmäßig an unterschiedliche Geschwindigkeiten des Käfigs derart angepaßt, dass die gewünschte Intensitätsverteilung in der Summe auf der Maske 1 gegeben ist. Somit kann in vorteilhafter Weise während der Beschleunigungs- oder Abbremsphase des Käfigs belichtet werden.

Das weiche Ausblenden der Beleuchtungsintensität und Überlappen der Beleuchtungsflecken wird insbesondere mittels eines Lasers vorgegeben, dessen Strahlintensität senkrecht zur Strahlrichtung ein gaußartiges Profil aufweist. Die Steuerung der Beleuchtungsintensität und somit die Einstellung der Lichtintensität erfolgt vorteilhaft durch Variieren der Pulsrate des gepulsten Lasers. Die im Vergleich zur Käfigbewegung schnelle Bewegung des Beleuchtungsflecks 3 wird in bevorzugter Weise durch Umlenken an einem Scanspiegel des Beleuchtungsscanners 19 erzeugt.

Für das erfindungsgemäße Korrekturverfahren wird die Abbildung auf dem Substrat derart verzerrt, dass die Maskenmarken auf die Substratmarken abgebildet werden, wobei es unerheblich ist, ob die Maske 1, das Substrat 2 oder beide korrigiert werden. Diese verschiedenen beliebigen Korrekturmöglichkeiten bedingen, dass der Korrektur-

- 16 -

vektor  $\Delta x$  und  $\Delta y$  von der Position des Beleuchtungsflecks ( $x_b$ ,  $y_b$ ) auf der Maske 2 nach folgender Gleichung abhängen:

$$\Delta x = f_1(x_b, y_b)$$

$$\Delta y = f_2(x_b, y_b)$$

Die Beleuchtungsposition wird vektoriell aus der Käfigposition und der Scanposition addiert. Es erfolgt die Verwendung einer Korrekturereinrichtung und Ansteuerung derart, dass je nach Position des Beleuchtungsflecks 3 auf der Maske 1 die Korrekturereinheit der optischen Einheit 9 entsprechend angesteuert wird, wobei insbesondere die erläuterte zusammengesetzte Bewegung berücksichtigt wird. Die Korrekturereinheit ist derart ausgebildet, dass sowohl die schnelle Scanbewegung als auch die hierzu vergleichsweise langsamere Käfigbewegung 31 erfolgen kann. Hierbei gewährleistet die Ansteuerung der Korrekturereinrichtung, dass die Position des Beleuchtungsflecks aus der Position des Tisches bzw. des Käfigs und der Scanposition ermittelt wird. Aus diesen Positionen werden in bevorzugter Weise in Echtzeit sowie unter Berücksichtigung der vorgegebenen Korrekturen, die Ansteuersignale für die Korrekturereinheit berechnet und erzeugt, und zwar vorteilhaft gemäß nachfolgender Gleichung:

$$\begin{pmatrix} x_b \\ y_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{\text{Käfig}} \\ y_{\text{Käfig}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{\text{Scan}} \\ y_{\text{Scan}} \end{pmatrix}$$

Um eine Langzeitstabilität der Vorrichtung zu gewährleisten, enthält die Mechanikeinheit bzw. der Käfig 7 die Referenzmarke 13 und die Justagekamera 12. Die Referenzmarke 13 ist auf der Maskenebene angeordnet und die Justagekamera 12 ist auf der Substratebene montiert. Durch Abbilden der Referenzstruktur bzw. Referenzmarke, insbesondere mit der in der Beleuchtungseinheit 8 enthaltenen Belichtungsquelle oder alternativ mit einer separaten Belichtungsquelle, auf der fixen Justagekamera 12 wird in bevorzugter Weise eine Kalibrierung des Optikpfades erreicht. Die Nachjustierung des optischen Pfades zwischen der Maske 1 und dem Substrat 2 erfolgt in vorteilhafter Weise über eines der aktiven Elemente der optischen Einheit 9. Die Kalibrierung der optischen Meßeinrichtungen wird in vorteilhafter Weise mittels der Referenzmarke 13 und der Tischkamera und/oder der Justagekamera durchgeführt, welche auf der Substratebene angeordnet ist. Die Käfigposition in der XY-Ebene wird über ein Meßsystem kontinuier-

lich gemessen. Die genannten Kameras und das Meßsystem sind an das Rechnersystem angeschlossen, mittels welchem die Meßwerte ausgewertet und die Antriebe des Käfigs sowie die Korrektureinrichtungen entsprechend der derart ermittelten Korrekturwerte und/oder Korrekturvektoren angesteuert werden.

In vorteilhafter Weise wird eine beliebige Bildverzerrung und Ausrichtung durch überlappendes oder kontinuierliches Aneinanderfügen von Einzelabbildungen durchgeführt, die kleiner sind als die Gesamtabbildung. Spezialfälle für die zur Korrektur erfindungsgemäß vorgesehenen Verzerrungen sind Translation, Rotation, Scherung und richtungsabhängige Skalierung. Durch sogenanntes weiches Ausblenden der Beleuchtungsintensität und Überlappen der Beleuchtungsflecke 3 wird in vorteilhafter Weise eine annähernd konstante Intensität über die Maskenfläche im zeitlichen Mittel erreicht. Der beleuchtete Bereich oder Beleuchtungsfleck 3 der Maske wird über die Abbildungsoptik auf das Substrat 2 abgebildet. Die somit erzeugte Abbildung ist die Struktur der Maske mit dem Intensitätsverlauf der Beleuchtung. Es wird in vorteilhafter Weise eine zumindest annähernd konstante Bildintensität im zeitlichen Mittel auf dem Substrat 2 erreicht. Hierzu gelangt in vorteilhafter Weise als Lichtquelle ein Laser zum Einsatz, dessen Strahlintensität senkrecht zur Strahlrichtung ein gaußartiges Profil aufweist. Darüber hinaus kann in bevorzugter Weise die Lichtintensität insbesondere durch Variieren der Pulsrate eines gepulsten Lasers vorgegeben werden. Die schnelle Bewegung des Beleuchtungsflecks auf der Maske 1 wird insbesondere durch Umlenken mittels eines Scanspiegels des Beleuchtungsscanners 19 erzeugt.

In Fig. 5 ist die Überlappung beispielhaft in einer Raum-Richtung von Beleuchtungsflecken 3 dargestellt, wobei eine Beleuchtung mit Gaußprofilen bzw. einer gaußschen Intensitätsverteilung zugrundegelegt ist. Infolge vorgegebener Überlappung der Kurven ist die Summenintensität 34 auf der Maske bis auf eine Restwelligkeit hinreichend konstant. Je geringer die angestrebte Restwelligkeit sein soll, desto größer wird der Überlappungsbereich 6 der Gaußprofile vorgegeben. Bei einer Korrektur der Einzelabbildungen 5, also einem Verschieben in der XY-Ebene verändert sich der Überlappungsbereich. Die Veränderung des Überlappungsbereiches 6 wird relativ zur absoluten Größe klein vorgegeben. Somit ergibt sich nur eine geringe Änderung der Restwelligkeit, so dass die Lichtintensität 35 auf dem Substrat zumindest näherungsweise konstant ist. Es sei festgehalten, dass die Abbildung auf dem Substrat die Struktur der Maske mit

dem Intensitätsverlauf der Beleuchtung ist. Somit wird eine annähernd konstante Bildintensität im zeitlichen Mittel auf dem Substrat erreicht.

Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel der optischen Einheit, enthaltend zwei Linsensysteme 22, welche jeweils auch als einzelne Linsen ausgebildet sein können. Die beiden Linsensysteme 22 bilden mit einem im Lichtpfad nachgeordneten Retroreflektor 25 eine sogenannte 4-fach Anordnung. Mit einer derartigen Anordnung wird von dem Objekt bzw. dem Beleuchtungsfleck 3 des Substrats 1 eine annähernd 1:1 Einzelabbildung 5 auf dem Substrat 2 erzeugt. Eine solche Abbildung ist unverzerrt und nicht punktgespiegelt. Durch Verschieben des Retroreflektors 25 in Y-Richtung wird die Bildebene auf das Substrat 2 eingestellt. In Kombination mit dem Meßsystem, mit welchem die Lage der Substratoberfläche in Z-Richtung erfaßt wird, kann im Rahmen der Erfindung die Bildebene einmalig eingestellt oder kontinuierlich nachgestellt werden. Im optischen Pfad sind drei aktive Elemente vorgesehen, welche je nach Anwendung einzeln oder in verschiedenen Kombinationen, insbesondere in der optischen Einheit enthalten sind. Mit wenigstens einem, vorteilhaft mit allen aktiven Elementen wird das Bildfeld und/oder die Abbildung in der XY-Ebene verschoben. So wird das Bildfeld durch Verkippen der achsparallelen Platte 20 senkrecht zur optischen Achse verschoben. Durch Kippen des Scanspiegels 23 mittels des 2-Achsen-Kippantriebs 21 senkrecht zum Lot vom einfallenden und reflektierten Strahl wird das Bildfeld gleichfalls verschoben. Des Weiteren wird durch das Verschieben des Retroreflektors 25 in der XZ-Ebene das Bildfeld verschoben.

Ferner wird in vorteilhafter Weise eine Erhöhung der Belichtungsgeschwindigkeit und somit des Durchsatzes der Vorrichtung dadurch erreicht, dass mehrere Abbildungs- und Korrektureinheiten parallel vorgesehen werden. Es werden mehrere Beleuchtungsflecken auf der Maske erzeugt, welche durch mehrere Abbildungs- und Korrektureinheiten auf dem Substrat abgebildet werden. Wie in Fig. 7 dargestellt, ist hierzu die Beleuchtungseinheit derart ausgebildet, dass wenigstens zwei Beleuchtungsflecken 3 auf der Maske erzeugt werden. Mittels der beiden separaten optischen Einheiten 9 werden in bevorzugter Weise die Korrekturwerte oder -vektoren 4 unabhängig voneinander vorgegeben.

In Fig. 8 und 9 sind Anordnungen zum simultanen Vervielfältigen der Masken dargestellt. Wenigstens zwei, gegebenenfalls auch mehr Abbildungs- und Korrektureinheiten sind

- 19 -

derart angeordnet, dass eine simultane Vervielfältigung einer Maske 1 auf einem oder mehreren Substraten 2 vorgenommen wird. In Fig. 8 ist beispielhaft die zweifache Abbildung dargestellt, wobei zwei Beleuchtungsflecke 3 aufgrund zweier paralleler Strahlengänge vorhanden sind. Gemäß Fig. 9 wird auf der Maske 1 ein einziger Beleuchtungsfleck 3 erzeugt und die optische Einheit enthält einen Strahlteiler 37, mittels welchem zwei parallele Strahlengänge mittels der optischen Einheit 9 zur Erzeugung von zwei Einzelabbildungen 5 erzeugt werden. Es versteht sich, dass im Rahmen der Erfindung an Stelle von zwei Einzelabbildungen analog eine größere Anzahl von Einzelabbildungen erzeugt werden kann.

- 20 -

**Bezugszeichen**

1	Maske
2	Substrat / Nutzelement
3	Beleuchtungsfleck
4	Korrekturvektor
5	Einzelabbildung
6	Überlappungsbereich
7	Mechanikeinheit / Käfig
8	Beleuchtungseinheit
9	optische Einheit / Abbildungs- und Korrekturereinheit
10	Maskenkamera
11	Substratkamera
12	Justagekamera
13	Referenzmarke
14	Registriermarke
15	X-Antrieb
16	Y-Antrieb
17	Laser
18	Strahlaufweitungseinheit
19	Beleuchtungsscanner
20	Verstellelement / planparallele Platte
21	2-Achsen-Kippantrieb von 20
22	Linsensystem / Linse
23	Verstellelement / Scanspiegel
24	2-Achsen-Kippantrieb von 23
25	Verstellelement / Retroreflektor
26	XYZ-Antrieb von 25
27	Positionsregelung für Käfigantrieb
28	Rechnersystem
29	Bildverarbeitungssystem
30	Bedienrechner mit Benutzeroberfläche
31	Käfigbewegung
32	Scanbewegung
34	Summenintensität auf der Maske
35	Summenintensität auf dem Substrat
36	Spiegel
37	Strahlteiler

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Abbilden einer Maske (1) auf einem Substrat (2), wobei mittels einer Beleuchtungseinheit (8) und einer optischen Einheit (9) die Maske (1) auf dem Substrat (2) abgebildet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit (8) und die optische Einheit (9) relativ zur Maske (1) und dem Substrat (2) bewegt werden, dass Verzerrungen des Substrats (2) erfaßt werden, und dass in Abhängigkeit der erfaßten Verzerrungen mittels der optischen Einheit (9) die Abbildung der Maske (1) verzerrt und den Verzerrungen des Substrats (2) angepaßt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gesamte Abbildung der Maske (1) aus insbesondere überlappenden Einzelabbildungen (5) zusammengesetzt wird, wobei das Bildfeld der optischen Einheit (9) kleiner vorgegeben wird als die gesamte Abbildung, dass die Einzelabbildungen (5) mittels aktiver Verstellelemente (20, 23, 25), insbesondere der optischen Einheit, auf dem Substrat (2) bewegt werden und/oder dass durch Ansteuerung der Verstellelemente (20, 23, 25) die Einzelabbildungen (5) derart zusammengesetzt werden, dass die erforderliche Verzerrung der Gesamtabbildung erreicht wird, wobei jede Einzelabbildung eine unverzerrte 1:1 Abbildung der Maske (1) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verzerrung des Substrats (2) durch Vermessung von Marken (14) der Maske (1) und dem Substrat (2) oder durch Vorgabe von Verzerrungswerten berechnet wird und/oder dass eine Kombination von Meßwerten und Vorgabewerten durchgeführt wird und/oder dass Relativpositionen von Marken (14) der Maske (1) zu Marken (14) des Substrats (2) bestimmt werden und/oder dass zur Korrektur die Abbildung derart verzerrt wird, dass die Marken (14) der Maske (1) auf den Marken (14) des Substrats (2) abgebildet werden, wobei die Maske (1) und/oder das Substrat (2) korrigiert werden.

4. Verfahren, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erforderliche Verzerrung der Abbildung der Maske (1) und/oder eine Ausrichtung durch überlappendes oder kontinuierliches Aneinanderfügen von Einzelabbildungen durchgeführt wird, welche jeweils kleiner sind als die gesamte Abbildung der Maske (1), wobei die Verzerrungen insbesondere durch Translation, Rotation, Scherung oder richtungsabhängige Skalierung vorgenommen werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem Substrat (2) die Beleuchtungsflecken (3) überlappend vorgesehen werden und/oder dass die Beleuchtungsintensität der Beleuchtungsflecken (3) weich ausgeblendet und/oder in ihrer Randzone gegenüber ihrem Zentrum reduziert wird und/oder dass der Beleuchtungsfleck (3) eine gaußartige Verteilung der Beleuchtungsintensität aufweist und/oder dass als Lichtquelle ein Laser verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung des Beleuchtungsflecks (3) auf der Maske (1) aus zwei Bewegungen zusammengesetzt wird, bevorzugt aus einer schnellen Scanbewegung der Beleuchtung und einer hierzu langsameren Bewegung einer die Maske (1) und das Substrat (2) aufnehmenden Mechanikeinheit (7) und/oder dass entsprechend der Position des Beleuchtungsflecks (3) auf der Maske (1) die Korrektur der Einzelabbildung (5) auf dem Substrat (2) gesteuert wird und/oder dass zur Korrektur und/oder Ansteuerung des Beleuchtungsflecks (3) die zusammengesetzte Bewegung berücksichtigt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsintensität auf der Maske (1) durch Ansteuern der Beleuchtungsquelle oder eines steuerbaren Dämpfungselements gesteuert wird und/oder dass die Beleuchtungsintensität unter Einsatz eines gepulsten Lasers durch Variieren der Pulsrate gesteuert wird und/oder dass die Beleuchtungsintensität in Abhängigkeit von der Position des Beleuchtungsflecks (3) auf der Maske (1) gesteuert wird und/oder dass die Beleuchtungsintensität in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der die Maske (1) und das Substrat (2) aufnehmenden Mechanikeinheit gesteuert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kalibrierung des optischen Pfades durch Abbilden einer Referenzmarke (13) oder Referenzstruktur mittels einer Belichtungsquelle, insbesondere der in der Beleuchtungseinheit (8) enthaltenen Belichtungsquelle auf einer Justagekamera (12) durch-



geführt wird, welche ebenso wie die Maske (1) und das Substrat (2) und gemeinsam mit diesen auf der bewegbaren Mechanikeinheit angeordnet ist und/oder dass eine Nachjustierung des optischen Pfades mittels wenigstens einen aktiven Elements (20, 23, 25), insbesondere der optischen Einheit (9) durchgeführt wird und/oder dass eine Kalibrierung der optischen Meßeinrichtungen durchgeführt wird, insbesondere mittels einer Justagekamera (12) und einer Referenzmarke (13), welche auf der bewegbaren Mechanikeinheit (7) angeordnet sind.

9. Vorrichtung zum Abbilden einer Maske (1) auf einem Substrat (2), enthaltend eine Mechanikeinheit (7), auf welcher die Maske (1) und das Substrat (2) beabstandet zueinander angeordnet sind, eine Beleuchtungseinheit (8) zur Erzeugung eines Beleuchtungsflecks (3) auf der Maske (1) und ferner enthaltend im optischen Pfad zwischen der Maske (1) und dem Substrat (2) eine optische Einheit (9), mittels welcher der Beleuchtungsfleck (3) auf dem Substrat (2) abbildbar ist, wobei die Mechanikeinheit (7) wenigstens einen Antrieb (15, 16) enthält, dadurch gekennzeichnet, dass die Mechanikeinheit (7) zur festen, während der Abbildung unveränderbaren Aufnahme der Maske (1) und des Substrats (2) ausgebildet ist, dass die Mechanikeinheit (7) zur Beleuchtungseinheit (8) und der optischen Einheit (9), welche fest miteinander gekoppelt sind, bewegbar angeordnet ist und dass die optische Einheit (9) wenigstens ein aktives Verstellelement (20, 23, 25) enthält, zum Verstellen des Beleuchtungsflecks (5) auf dem Substrat (2), wobei das Verstellelement (20, 23, 25) in Abhängigkeit von Verzerrungen des Substrats (2) ansteuerbar ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Bildfeld der optischen Einheit (9) und/oder die mittels dieser erzeugte Einzelabbildung (5) kleiner ist als die gesamte Abbildung der Maske (1), wobei die gesamte Abbildung der Maske (1) aus einer vorgegebenen Anzahl der genannten Einzelabbildungen (5) zusammensetzbar ist, und dass ein Rechnersystem (28) zum Ansteuern des aktiven Verstellelements (20, 23, 25) derart ausgebildet ist, dass in Abhängigkeit von festgestellten Verzerrungen und/oder diesen entsprechend eine Verzerrung der gesamten Abbildung der Maske (1) durch Zusammensetzung der entsprechend abgelenkten Einzelabbildungen (5) durchführbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstelleinrichtung einen Käfig (7) aufweist, welcher zur gegenseitig fixierten und beabstandeten Anordnung der Maske (1) und des Substrats (2) ausgebildet ist, dass die

- 24 -

optische Einheit (9) im Käfig (7) zwischen der Maske (1) und dem Substrat (2) angeordnet ist und/oder dass die optische Einheit (9) und die Beleuchtungseinheit (8), welche miteinander mechanisch gekoppelt sind, relativ zum Käfig (7) bewegbar angeordnet sind und/oder dass der Käfig (7) mittels Antrieben (15, 16) bezüglich der optischen Einheit (9) und der Beleuchtungseinheit (8) bewegbar angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Einheit (9) eine Abbildungsoptik mit zwei Linsen oder Linsensystemen (22) in einer insbesondere 4f-Anordnung enthält, dass die Maske (1) im frontseitigen Brennpunkt der ersten Linse oder des ersten Linsensystems (22) angeordnet ist und das Substrat (2) der zweiten Linse oder des zweiten Linsensystems (22) angeordnet ist, wobei der Strahlengang vor der ersten Linse bzw. dem ersten Linsensystem (22) oder nach der zweiten Linse bzw. dem zweiten Linsensystem (22) über einen Retroreflektor (25) punktgespiegelt wird.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Einheit (9) eine Korrektureinheit und/oder ein Verstellelement (20, 23, 25), insbesondere zur Verschiebung der Abbildung senkrecht zur optischen Achse in der Bildebene enthält und/oder dass eine planparallele Platte (20) vorgesehen ist, mittels welcher durch Verkippen senkrecht zur optischen Achse das Strahlenbündel parallel zur optischen Achse verschiebbar ist und/oder dass ein Spiegel (23) vorgesehen ist, welcher senkrecht zum Lot des einfallenden und ausfallenden Strahlenbündels kippbar angeordnet ist und/oder dass ein Retroreflektor (25) vorgesehen ist, welcher senkrecht zur optischen Achse verschiebbar ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Retroreflektor (25) derart bewegbar angeordnet ist, dass der Lichtweg in der Abbildungsoptik verlängerbar oder verkürzbar ist und somit die Bildebene genau auf der Oberfläche des Substrats (2) abbildbar ist, wobei die Einstellung der Bildebene statisch durch Sollwertgabe oder dynamisch durch Lagemessung der Oberfläche des Substrats (2) einstellbar ist.

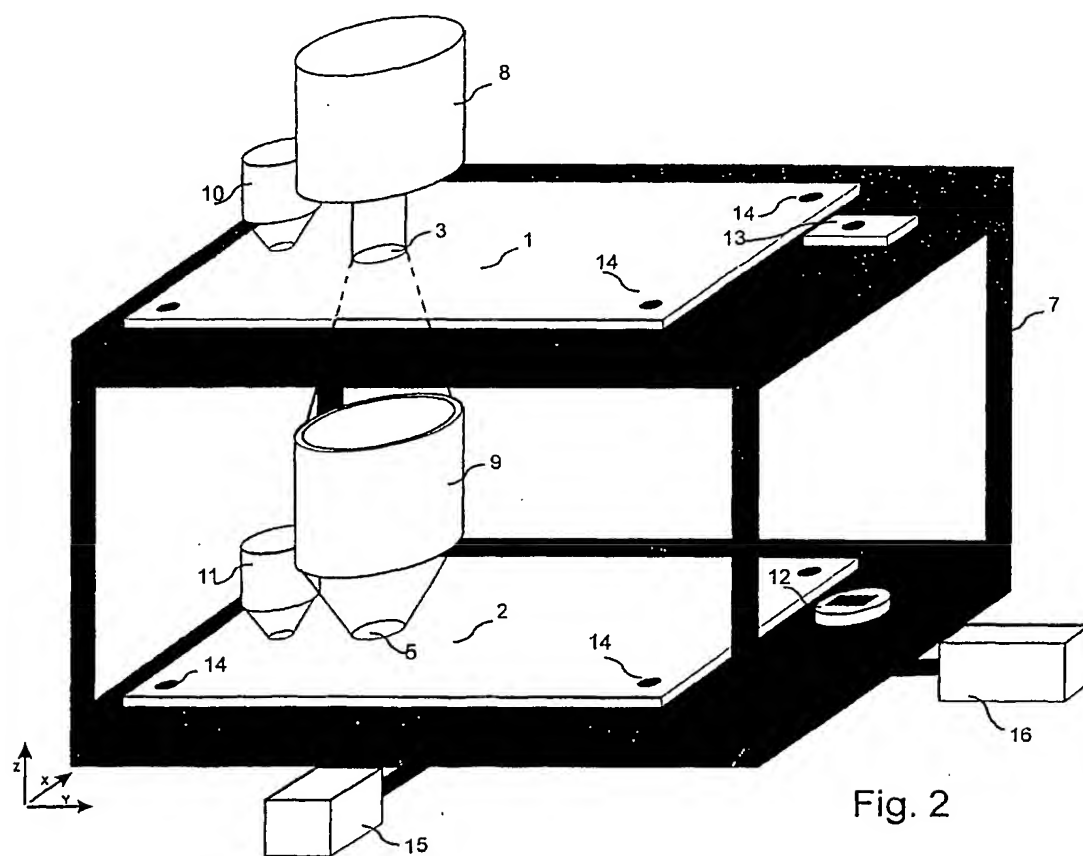
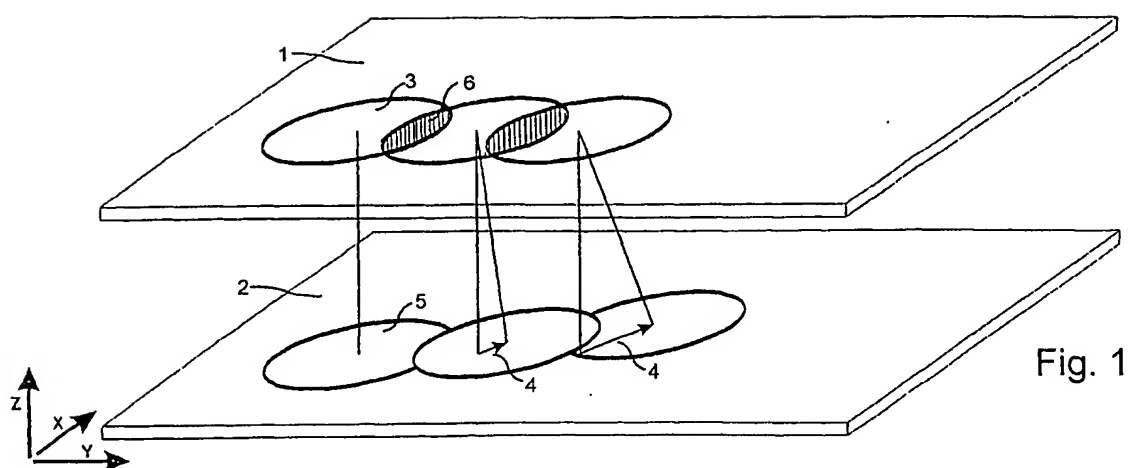
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit zur Erzeugung von wenigstens zwei Beleuchtungsflecken (3) auf der Maske (1) ausgebildet ist, welchen eine entsprechende Anzahl von optischen

- 25 -

Einheiten (9) mit Abbildung- und Korrektureinheiten nachgeordnet sind zur Erzeugung von wenigstens zwei oder mehr Einzelabbildungen (5) auf dem Substrat (2).

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur insbesondere simultanen Vervielfältigung der Maske (1) auf ein oder mehrere Substrate (2) die Beleuchtungseinheit (8) zur Erzeugung mehrerer Beleuchtungsflecken (3) auf der Maske (1) ausgebildet ist und/oder dass im optischen Pfad zwischen der Maske (1) und dem oder den Substraten (2) ein Strahlteiler (37) derart angeordnet ist, dass durch mehrere, bevorzugt parallele Strahlengänge auf dem oder den Substraten (2) mehrere Einzelabbildungen (5) erzeugbar sind.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, gekennzeichnet durch die Ausbildung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8.



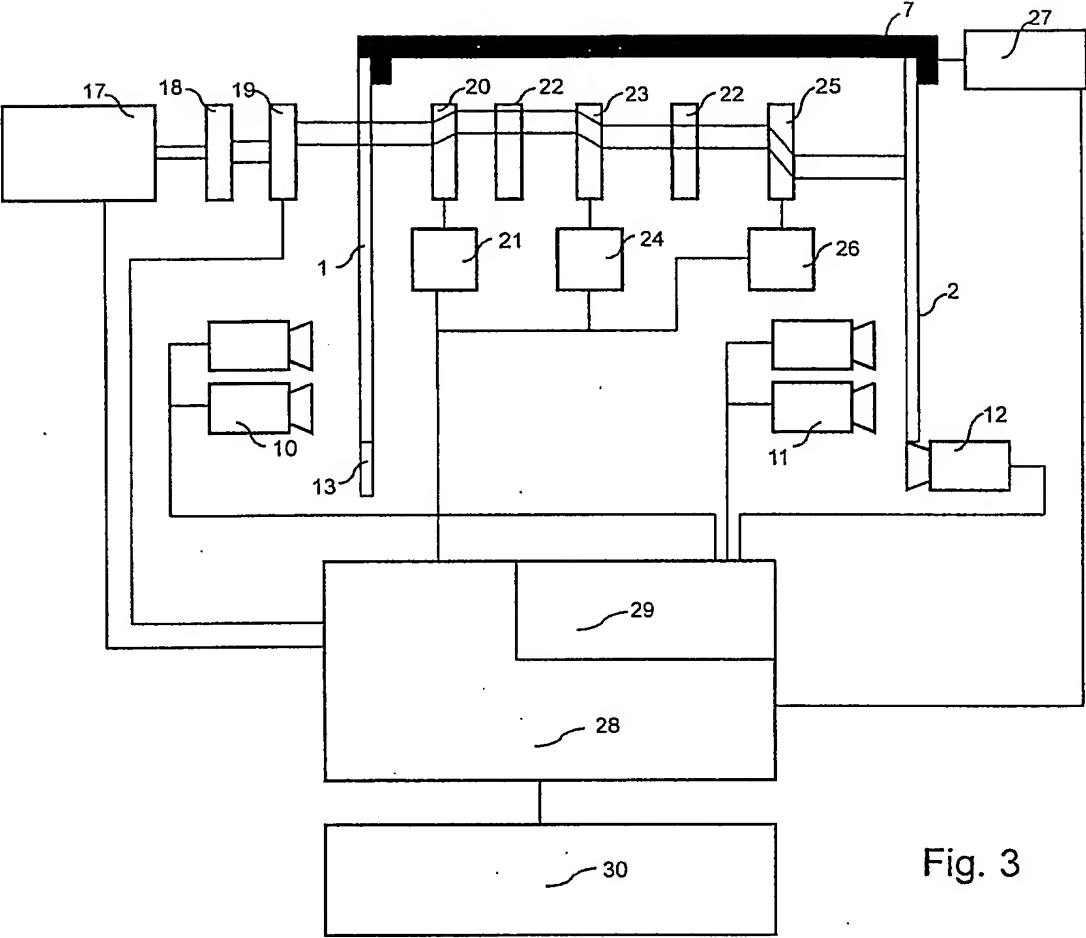


Fig. 3

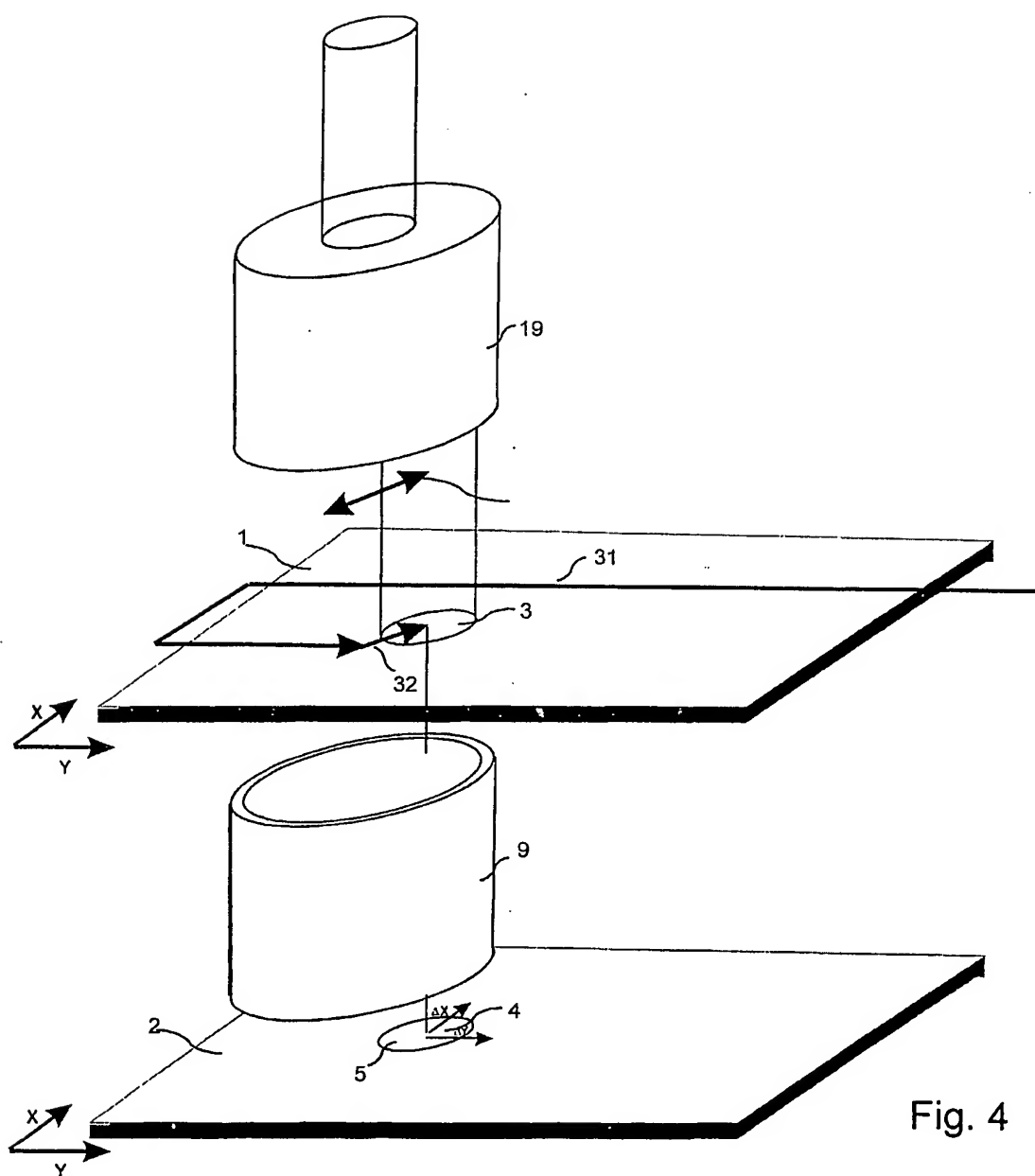


Fig. 4

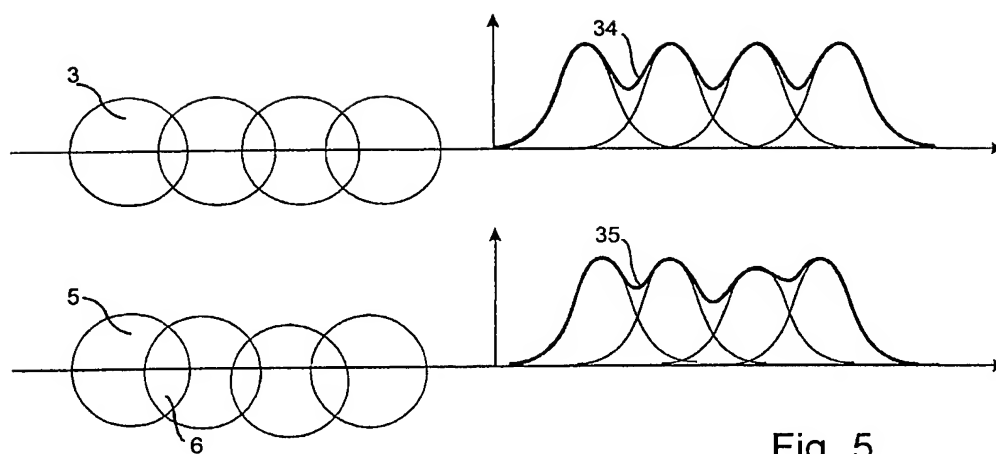


Fig. 5

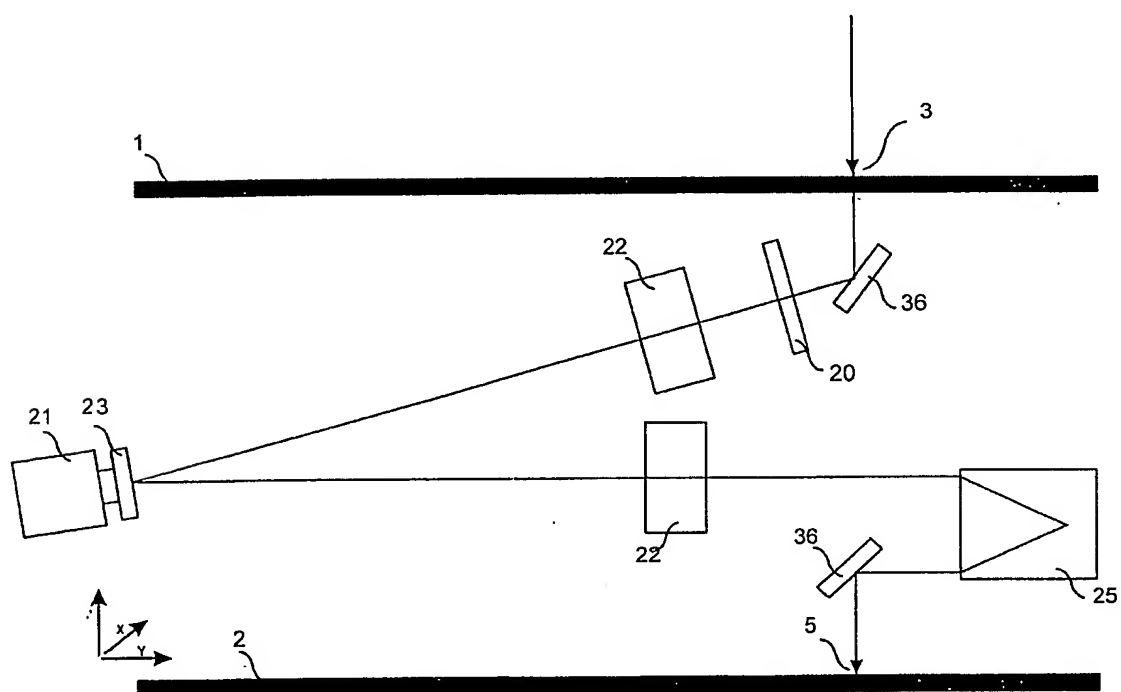
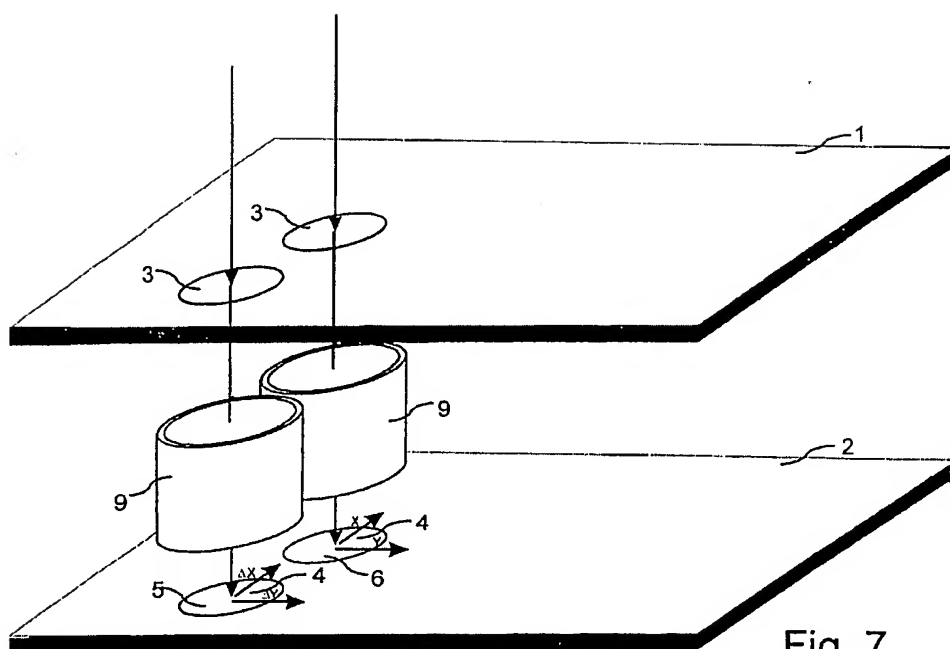


Fig. 6





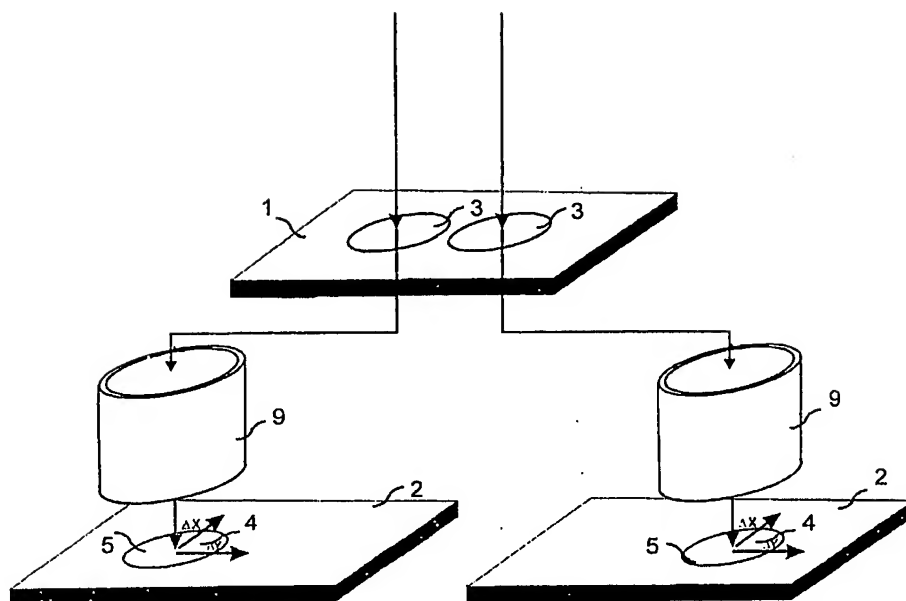


Fig. 8

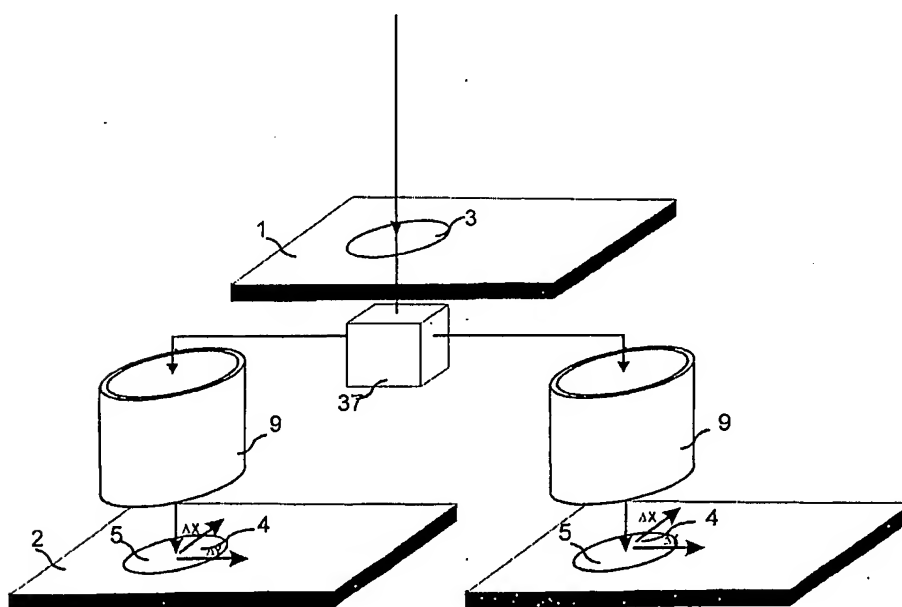


Fig. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**